

University of Groningen

Study of proton-proton bremsstrahlung towards the elastic limit

Mahjour-Shafiei, Masoud

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2004

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Mahjour-Shafiei, M. (2004). *Study of proton-proton bremsstrahlung towards the elastic limit*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

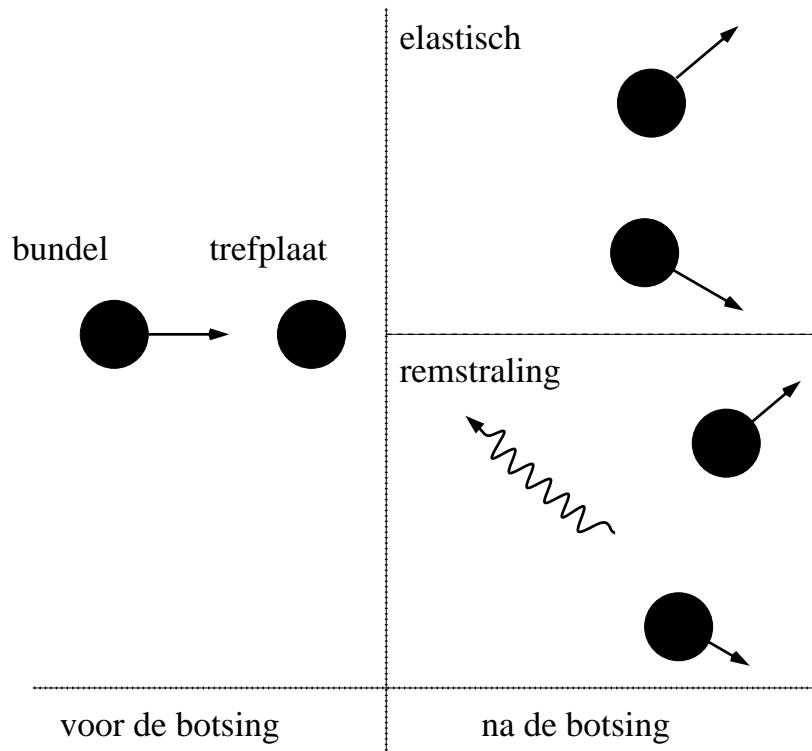
Samenvatting

Kernfysica is de wetenschap die zich bezighoudt met de dynamica en de eigenschappen van de atoomkern. De atoomkern bestaat uit nucleonen, protonen en neutronen, die bijeengehouden worden door de zogenaamde sterke wisselwerking. Deze kracht zorgt ervoor dat de kern niet uiteenvalt ondanks het feit dat protonen elkaar afstoten doordat zij een gelijke elektrische lading hebben. Deze belangrijke rol die de sterke wisselwerking vervult voor de dynamica van de kern is de belangrijkste reden om haar te bestuderen. Een van de eenvoudigste manieren om dat te doen is twee nucleonen te laten botsen en te kijken welke invloed ze op elkaar uitoefenen.

De meest waarschijnlijke reactie die optreedt in nucleon-nucleon (hierna NN te noemen) verstrooiing is een elastische reactie, waarbij na de botsing niets anders overblijft dan de twee nucleonen. Aangezien dergelijke reacties zo simpel zijn, waren ze ook de eerste reacties die gebruikt werden in het onderzoek naar de sterke wisselwerking tussen twee nucleonen. Tegenwoordig valt er dan ook nog maar weinig te leren van elastische NN verstrooiing, en moet men naar ingewikkelder reacties kijken in de hoop iets nieuws te ontdekken over de sterke wisselwerking. NN -remstraling is dan de volgende stap in complexiteit. Bij deze reactie komt namelijk, behalve de twee nucleonen, ook nog één foton vrij; zie Fig. A.1.

Om een dergelijk NN verstrooiingsexperiment uit te voeren is het nodig een bundel nucleonen op een trefplaat van nucleonen te richten. Omdat protonen, anders dan neutronen een elektrische lading dragen, kunnen zij, in tegenstelling tot neutronen, door gebruik te maken van (wisselend) elektrische velden versneld worden. Ook is er geen atoomkern die geheel uit neutronen bestaat om als trefplaat te dienen, maar is het wel betrekkelijk eenvoudig een proton trefplaat te maken, bijvoorbeeld vloeibaar waterstof.

In het experiment, dat in dit proefschrift beschreven is, werd er een bundel nucleonen met een energie van 190 MeV geproduceerd door het AGOR cyclotron. Deze bundel trof vervolgens een trefplaat van vloeibaar waterstof. Bij deze botsing is proton-proton remstraling (hierna $pp\gamma$ te noemen)



Figuur A.1: Schematische weergave van botsing van twee nucleonen. Links worden de twee nucleonen voor de botsing geschetst. Rechts worden de twee eenvoudigste reacties aangegeven: elastische verstrooiing (rechtsboven) en NN -remstraling (rechtsonder).

het meest waarschijnlijke proces, na elastische proton-proton verstrooiing. De kinematische verschillen tussen die twee reacties zijn meegenomen bij het ontwerpen van de experimentele opstelling om de achtergrond zoveel mogelijk te kunnen onderdrukken. Deze verschillen en de manier waarop ze zijn meegenomen in de verwerking van de meetgegevens, zullen later nog aan de orde komen.

De verstrooide protonen van de elastische en de remstraling reacties vliegen altijd naar voorwaartse hoeken, terwijl het foton in elke richting uitgezonden kan worden. In dit experiment werden de fotonen alleen in de achterwaartse hoeken gemeten. De SALAD (Small-Angle Large-Acceptance Detector) stond onder voorwaartse hoek, en werd gebruikt om protonen te

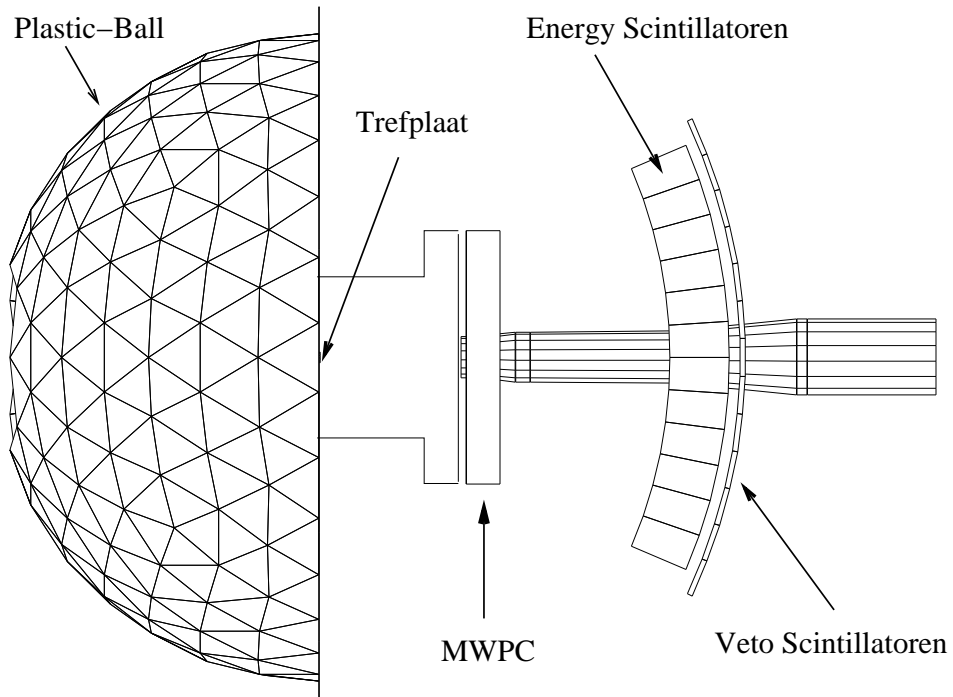
meten. De Plastic-Ball detector bestreek achterwaartse hoeken om fotonen te meten; zie Fig. A.2.

SALAD bestaat uit een MWPC (Multi-Wire Proportional Chamber) en twee rijen scintillatoren. De MWPC wordt gebruikt om de coördinaten van de protonen vast te leggen. Daarachter bevindt zich een laag van 24 scintillatoren, energie scintillatoren genaamd. Deze zijn dik genoeg om alle protonen die bij remstraling reacties vrijkomen, volledig te stoppen tot een kinetische energie van 120 MeV. Elastisch verstrooide protonen gaan echter door deze detector heen en bereiken een tweede laag scintillatoren, Veto scintillatoren genaamd. Op deze manier is het eenvoudig de elastisch verstrooide protonen te scheiden van de rest.

Bovendien is de maximale openingshoek van de MWPC rond 80° (gemeten tussen twee hoeken op een zelfde diagonaal), 2° minder dan de hoek tussen twee elastisch verstrooide protonen (relativistisch is de openingshoek tussen twee protonen in de elastische botsing rond 84°). Daardoor kan slechts één van de protonen uit een elastische verstrooiing gemeten worden. De openingshoek tussen de twee protonen uit een remstraling reactie kan echter heel klein zijn, afhankelijk van de afgedragen impuls aan het foton. Daardoor worden beide protonen tegelijk gemeten, wat het makkelijk maakt om $pp\gamma$ kandidaten te vinden. Het achterste gedeelte van de Plastic-Ball, een halve bol bestaande uit 340 plastic scintillatoren, heeft een zeer hoog ruimtelijk scheidend vermogen.

Tijdens het experiment zijn alle mogelijke maatregelen genomen om de achtergrond zo veel mogelijk terug te dringen. Desondanks zijn slechts 15 op de 1000 geregistreeerde gebeurtenissen goede $pp\gamma$ gebeurtenissen. Deze overgebleven achtergrond moet worden onderdrukt met andere methoden tijdens de verwerking van de meetgegevens. Met de gebruikte opstelling werden zowel de energie als de vluchttijd van de deeltjes gemeten. Als het foton en de protonen van dezelfde reactie afkomstig zijn, moeten hun vluchttijden aan elkaar gecorreleerd zijn. Dit simpele feit is gebruikt om de achtergrond te onderdrukken, als eerste stap van de analyse.

Kinematisch is elk deeltje volledig vastgelegd als de drie projecties van zijn impuls, of de absolute waarde van zijn impuls en zijn bewegingsrichting bekend zijn. Omdat het proton-proton remstralingssysteem uit drie deeltjes bestaat moeten er negen variabelen bekend zijn om het systeem volledig vast te leggen. Vanwege energie- en impulsbehoud, die samen vier vergelijkingen leveren, zijn slechts vijf van de negen variabelen onafhankelijk van elkaar en daarom is het voldoende om slechts vijf variabelen van het proton-proton remstralingssysteem te meten. De rest kan dan berekend worden via de vier vergelijkingen van energie- en impulsbehoud. Dit wordt kinematische

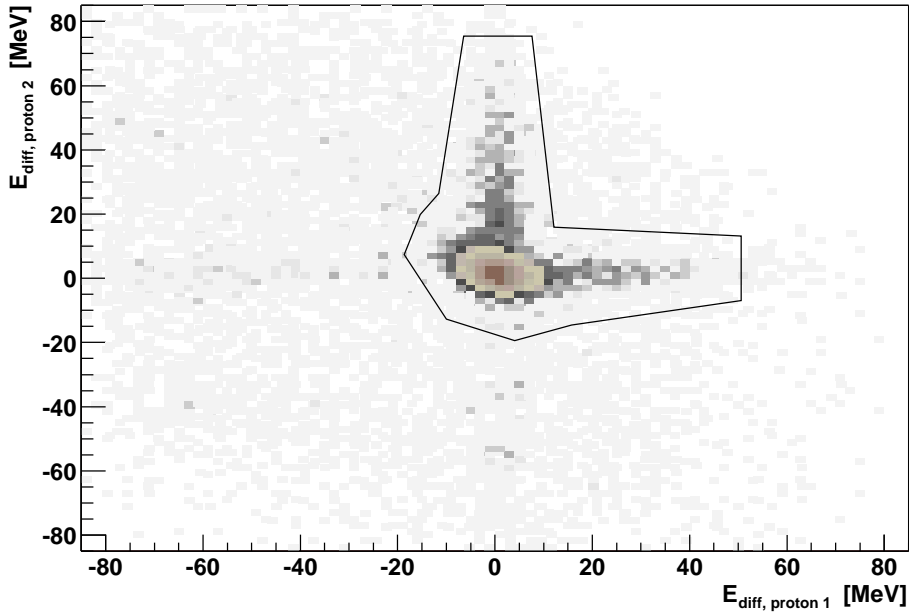


Figuur A.2: De in dit experiment gebruikte opstelling om protonen en fotonen te meten.

reconstructie van de meting genoemd.

Tijdens het experiment werden alle negen kinematische variabelen gemeten, maar alleen de hoeken van de protonen en de polaire hoek van het foton zijn gebruikt om de reacties te reconstrueren. Als de geregistreeerde reactie geen echte $pp\gamma$ was, is het erg waarschijnlijk dat de reconstructie faalt, dat wil zeggen dat de berekening negatieve impulsen van de deeltjes oplevert. De vier variabelen die dan nog niet voor de reconstructie gebruikt zijn, de zogenaamde overbodige variabelen, worden gebruikt om de achtergrond, die nog overgebleven is, te onderdrukken. Als er daadwerkelijk een $pp\gamma$ reactie heeft plaatsgevonden is het erg waarschijnlijk dat de waarde van de overbodige variabelen gelijk zijn aan de berekende waarden. Bij deze metingen waren de proton energieën, en de azimuthale hoek en energie van het foton overbodig.

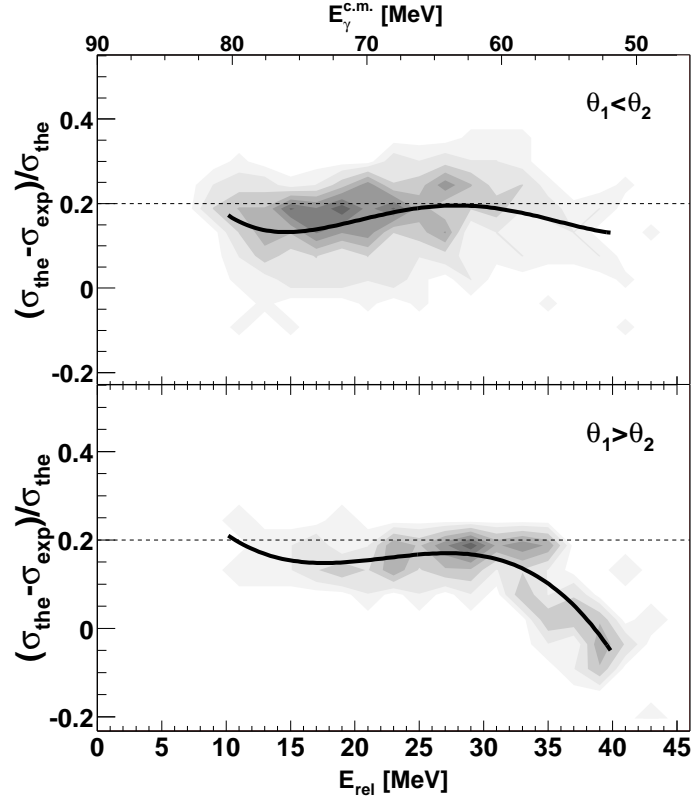
De gereconstrueerde en de gemeten energieën van de protonen zijn vergeleken in Fig. A.3 als een voorbeeld. In dit figuur is het verschil tussen de



Figuur A.3: Het verschil tussen de gereconstrueerde en de gemeten energie van proton 1 uitgezet tegen dat van proton 2, samen met de selectie die bij de analyses gebruikt is.

gereconstrueerde en de gemeten energieën van proton 1 uitgezet tegen die van proton 2, en is verder de selectie van goede metingen aangegeven. Reacties waarvoor de gemeten energieën van de protonen overeenkomen met de berekende waarden bevinden zich rond het punt (0,0). Daarnaast zijn er twee lichte banden te zien, één langs de x-as en één langs de y-as. Deze zijn gebeurtenissen waarbij één van de protonen een hadronische reactie heeft ondergaan in de Energie scintillator waardoor de gemeten energie te laag is.

De vergelijking tussen de gereconstrueerde en de gemeten energie van de protonen laat zien dat fotonen waarvan de gemeten energie lager is dan 25 MeV voornamelijk bij de achtergrond horen. Om dit resultaat te controleren, is er ook een serie metingen gedaan met een trefplaat zonder het vloeibare waterstof. Analyse van die experimenten laat zien dat de laag energetische fotonen inderdaad uit de achtergrond afkomstig zijn en reacties met zo'n gemeten foton zijn daarom niet meegenomen in de analyse. Na deze selectie is de achtergrond minder dan 0.5% zoals een vergelijking tussen de gemeten en berekende azimuthale hoek van het foton laat zien.



Figuur A.4: Het relatieve verschil tussen de experimenteel verkregen en de theoretisch berekende werkzame doorsnedes, als functie van E_{rel} , oftewel $E_{\gamma}^{\text{c.m.}}$. Het verschil is berekend met het microscopisch model. Bovenaan (onderaan) zijn de metingen weergegeven waarvoor $\theta_1 < \theta_2$ ($\theta_1 > \theta_2$) geldt. De horizontale onderbroken lijnen geven een relatief verschil aan van 0.2. De doorgetrokken lijn dient slechts om het oog te leiden.

Twee $pp\gamma$ observabelen zijn gemeten tijdens het huidige experiment: a) de werkzame doorsnede, een maat voor de waarschijnlijkheid dat de reactie plaats vindt, ongeacht wat de spins van de twee nucleonen zijn; en b) het analyserend vermogen dat laat zien in hoeverre deze waarschijnlijkheid afhangt van de spin van de twee nucleonen. Deze twee observabelen zijn gevoelig voor de verschillende ingrediënten van de sterke wisselwerking en de koppeling van het foton aan een nucleon. Het doel van het experiment

was te bestuderen hoe het verschil tussen de voorspellingen van het microscopisch model en de gemeten datapunten zich ontwikkelt naar mate men dichterbij het elastisch kanaal komt. Daartoe is het nuttig twee variabelen te introduceren. a) Het relatief verschil tussen de theoretische berekening van de werkzame doorsnede en de gemeten data, gedefinieerd als

$$\sigma_{\text{diff}} = (\sigma_{\text{the}} - \sigma_{\text{exp}}) / \sigma_{\text{the}} \quad (\text{A.1})$$

waar σ_{the} en σ_{exp} respectievelijk de voorspelling van het model en de gemeten werkzame doorsnede weergeven; en b) de relatieve energie van de protonen, E_{rel} , wat een maat is voor de hoeveelheid energie die de protonen uit het systeem meekrijgen. Deze variabele gedraagt zich tegengesteld aan de energie die het foton in het massamiddelpuntssysteem meekrijgt, $E_{\gamma}^{\text{c.m.}}$. E_{rel} of $E_{\gamma}^{\text{c.m.}}$ kan daarom gebruikt worden om aan te geven hoe dicht men bij het elastisch kanaal is. Hoe dichterbij men komt, hoe groter (kleiner) E_{rel} ($E_{\gamma}^{\text{c.m.}}$) wordt.

In Fig. A.4 is het relatieve verschil, σ_{diff} , weergegeven als functie van E_{rel} of $E_{\gamma}^{\text{c.m.}}$ voor het geval dat $\theta_1 < \theta_2$ (boven) en $\theta_1 > \theta_2$ (onder). Hier zijn θ_1 en θ_2 de polaire hoeken van proton één en twee, respectievelijk. Bovendien is in elk figuur een vloeiende lijn weergegeven die de trend van het verschil duidelijker aangeeft. De horizontale onderbroken lijnen geven een verschil aan van 0.2. Alleen voor $\theta_1 > \theta_2$ valt het verschil tussen theorie en experiment abrupt naar nul voor relatieve energieën groter dan 33 MeV.

Naarmate men dichterbij het elastisch kanaal komt wordt de overeenstemming tussen theorie en experiment beter zoals te verwachten is. Het elastisch kanaal is namelijk al veel bestudeerd en goed begrepen. De plotselinge verandering boven een relatieve energie van 33 MeV is echter onbegrepen; een veel geleidelijkere afname was verwacht. Nog vreemder is het feit dat dit effect slechts optreedt als $\theta_1 > \theta_2$ en niet als $\theta_1 < \theta_2$. Dit aspect verdient duidelijk verder theoretisch onderzoek. Experimenteel zal de meting uitgebreid moeten worden voorbij $E_{\text{rel}} = 40$ MeV om te zien hoe de trend zich voortzet.

